

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Dua istilah berbeda umumnya digunakan dalam literatur untuk menunjukkan pengolahan partikel serbuk bola berenergi tinggi. Mechanical Milling (MM) menggambarkan proses ketika campuran serbuk (dari logam yang berbeda atau paduan/senyawa) di giling menjadi satu. Material yang terlibat dalam hal ini adalah proses untuk mendapatkan paduan yang sesuai. Disisi lain, penggilingan seragam, seperti logam murni, intermetalik, atau bubuk prealloyed, dimana material tidak diperlukan untuk homogenisasi, telah disebut *Mechanical Milling*.

Ball mill merupakan salah satu instrument/alat yang dapat digunakan untuk memproduksi nanomaterial. Komponen ball mill ini terdiri atas sebuah tabung (vial) penampung material dan bola-bola penghancur. Pada proses pembuatan nanomaterial menggunakan ball mill ini. Kemudian ball mill di gerakan bisa secara rotasi maupun vibrasi dengan frekuensi tinggi. Gerakan rotasi atau vibrasi ini dapat di variasi sesuai kebutuhan. Akibat material yang terperangkat antara bola penghancur dan dinding vial akan saling bertumbukan menghasilkan deformasi pada material tersebut. Deformasi material tersebut menyebabkan fragmentasi struktur material sehingga terpecah menjadi susunan yang lebih kecil. (Maurice, D., & Courtney, T. H. 1996)

Dari partikel titanium, 85 wt-3% berada dalam kisaran ukuran 20-120 mm, dengan rata-rata beratnya 56,6 mm. Semua partikel HA kurang dari 120 mm dan kurang lebih beratnya hampir sama pada 57,5 mm. Mikroskopi mengungkapkan bahwa partikel HA sebenarnya adalah aglomerat partikel kecil (sekitar 1mm). distribusi ukuran Ti-20 campuran konvensional dengan% Serbuk HA seperti yang diharapkan dari distribusi serbuk penyusunnya. Sebaliknya proporsi partikel dengan ukuran kurang dari 15mm meningkat

pada *High Energy Ball Milling* dan setelah 1 jam distribusi yang dikembangkan dan diamati *Scanning Electron Microscopy (SEM)* mengungkapkan bahwa sejumlah besar partikel ke partikel kecil terpecah selama penggilingan berlangsung (S.Tsipas, P. Goodwin, H. B. McShane and R. D. Rawlings)

Simanjuntak melakukan penelitian dengan material yang digunakan adalah  $\text{Al}_3\text{Ti}$  melalui proses mechanical Milling (MM) menggunakan HEM (High Energy Milling. Penelitian ini menggunakan mesin HEM untuk mensintesis  $\text{Al}_3\text{Ti}+\text{Mg}$  komposit  $\text{Al}_3\text{Ti}+\text{Mg}$  dengan memvariasikan kecepatan milling mulai dari 700rpm dan 933rpm dan dengan 20%  $\text{Al}_3\text{Ti}$  untuk mencapai fisik terbaik dari komposit tersebut. Setelah proses penggilingan selesai, di hasilkan serbuk yang kemudian di uji struktur mikronya dengan menggunakan mikroskop electron, analisa fasa dengan difraksi sinar-X dengan pengujian massa jenis serta porositas menggunakan prinsip Archimedes (Simanjuntak, 2012).

## 2.2 Proses Dasar Mechanical Alloying

Menurut El-Eskandarany mechanical alloying adalah istilah umum untuk memproses serbuk bola bertekanan tinggi. Namun, tergantung pada keadaan campuran bubuk awal dan langkah-langkah pengolahan yang terlibat, ini menggambarkan proses ketika campuran serbuk (dari logam atau paduan atau senyawa yang berbeda) digiling menjadi satu. Dengan demikian, jika bubuk murni logam A dan B digiling bersama untuk menghasilkan larutan padat (baik ekuilibrium atau jenuh), intermetalik, atau fase amorf, proses ini disebut juga (MM).

Dapat di catat bahwa ketika campuran dua intermetalik di proses dan kemudian paduan terjadi, ini akan di sebut sebagai MM karena transfer material terlibat. Namun, jika logam murni atau intermetalik hanya di proses untuk mengurangi partikel (atau butir) ukuran dan meningkatkan luas permukaan, maka ini akan di sebut sebagai MM karena transfer material tidak terlibat.

Prosedur penggilingan dengan hasil ball milling adalah serbuk dimasukkan kedalam sebuah Silinder logam dengan beberapa bola didalamnya dan bergerak berputar secara terus-menerus. Di dalam Silinder tersebut bola-bola akan saling bertumbukan. Akibat tumbukan bola ini, maka serbuk Material yang dimasukkan ke dalam alat ini akan tertumbuk diantara bola-bola tersebut, hal ini mengakibatkan partikel tersebut akan pecah. Begitu seterusnya hingga ukuran partikel mencapai yang diinginkan (Smallman, 1991).

## 2.3 Klasifikasi Mechanical Milling

Berbagai jenis peralatan penggilingan energy tinggi di gunakan untuk memproduksi bubuk yang di campur secara mekanik atau di giling. Mereka berbeda dalam desain, kapasitas, efisiensi penggilingan, dan pengaturan tambahan untuk pendinginan, pemanasan dan sebagainya, Berikut adalah jenis jenis dari mechanical Milling di jelaskan sebagai berikut:

### 1. *Spex Shaker Mills*

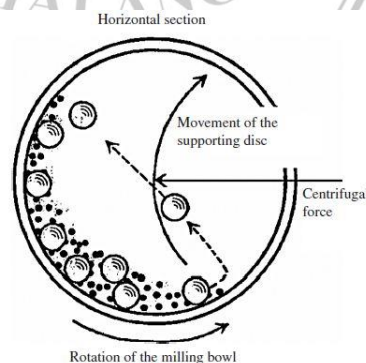
*Shaker mills* paling sering di gunakan untuk penyelidikan laboratorium untuk skrining paduan dan tujuan. *Shaker mills* di produksi oleh *SPEX cerPrep*. Versi umum dari *mills* yang memiliki satu tempat, berisi bubuk dan bola penggilingan, diamankan penjempit dan mengayun dengan cara bolak balik beberapa ribu kali semenit. Gerakan mundur dan maju di kombinasikan dengan gerakan lateral dari ujung botol, sehingga botol tampak menggambarkan sosok 8 atau simbol *infinity* saat bergerak. Dengan setiap ayunan *vial*, bola berdampak terhadap sampel dan *end vial*, baik penggilingan dan pencampuran sampel. Karena Amplitudonya (sekitar 50mm) dan kecepatan sekitar (1200 rpm) dari gerakan penjepit, kecepatan ban tinggi ( pada urutan 5 m/detik) dan akibatnya kekuatan bola berdampak tidak biasa besar. Oleh karena itu, *Shaker Mills* ini dapat di anggap sebagai energi tinggi yang bervariasi.



Gambar 2.1 *Laboratory Spex mills*  
(Sumber <https://www.retsch.com>)

## 2. *Planetary Ball Mills*

*Ball mills* adalah eksperimen yang sangat populer di MA di sebut sebagai (Pulverisette) dimana beberapa ratus gram bubuk dapat di giling pada saat yang bersamaan. Ini di produksi oleh Fritsch GmbH. *Ball mills* di atur pada disk yang berputar, dan mekanisme *drive* khusus menyebabkan mereka berputar di sekitar dinding bola. Gaya sentrifugal yang di hasilkan oleh pusat sumbu dan yang di hasilkan oleh *disk* pendukung berputar keduanya, terdiri dari bahan yang akan di giling oleh bola penggilingan. Saat *disk* berputar kearah yang berlawanan, gaya sentrifugal bergantian bertindak masuk kea rah yang berlawanan.



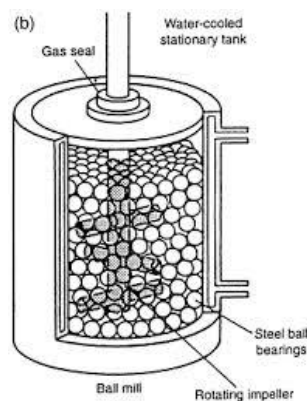
Gambar 2.2 *Schematic of a planetary ball mill*  
(K. tibi 2016)



Gambar 2.3 *Laboratory planetary mills*  
(Sumber: <https://www.retsch.com>)

### 3. *Attritor Mills*

Sebuah *ball mills* konvensional terdiri dari drum horizontal dan berputar yang diisi setengah bola baja kecil. Saat drum memutar bola jatuh pada bubuk logam itu, Tingkat penggilingan meningkat dengan kecepatan rotasi. Tinggi kecepatan, bagaimanapun, gaya sentrifugal yang berkerja pada bola baja melebihi kekuatan gravitasi, dan bola di sematkan ke dinding drum. Pada titik ini gerinda akan berhenti. *Attritor* (sebuah ball mill yang mampu menghasilkan energi yang lebih tinggi) terdiri dari drum vertikal yang berisi serangkaian impeller. Impeler memberi energi muatan bola, partikel kering di kenakan di berbagai kekuatan seperti dampak rotasi, tumbling, dan geser. Hal ini menyebabkan pengurangan ukuran bubuk karena tabrakan antar bola dan dinding container, dan antara bola, poros agitator, dan impeller. Oleh karena itu bubuk halus micrometer dapat dengan mudah di produksi. *Attritor ball mills* dimana sejumlah bubuk (dari beberapa pon hingga 100 lb). Kecepatan *medium* penggilingan di *attritor* jauh lebih rendah (sekitar 0,5 m/detik) daripada di *Planetary mills* atau *SPEX*, dan akibatnya energi di *attritor* sangat rendah.



Gambar 2.4 Attritor mill  
(Sumber: <https://www.retsche.com>)



Gambar 2.5 Laboratory attritor mill  
(Sumber <https://www.retsche.com>)

#### 4. Faktor yang mempengaruhi

Kemajuan dan hasil akhir MM sangat dipengaruhi oleh sejumlah parameter pemrosesan, seperti parameter penggilingan (*impact energy*, *ratio ball to powder (BPR)*), kecepatan penggilingan, ukuran dan distribusi bola, bahkan bentuk impeler dalam kasus penggilingan attritor, suhu, atmosfer, dan kontaminasi.

#### 5. Parameter Penggilingan

##### a. *Impact energy*

*Impact energy* ini tergantung pada penggilingan tertentu dan kepadatan ukuran bola, diamati bahwa *microhardness* yang di

kembangkan di mikro MA bergantung pada *impact energy*. Hal ini juga telah di amati bahwa pada penggilingan energi tinggi tingkat kristalisasi meningkat dan dengan amorfisasi energi rendah terjadi.

b. *Size of the grinding ball*

Ukuran bola mempengaruhi ukuran morfologi, suhu rekristalisasi dan entalpi bubuk yang di hasilkan. Seperti yang di bahas dalam bagian pengelasan / rekah kejadian dapat ditingkatkan dengan menggunakan berbagai ukuran bola, daripada menggunakan bola dengan ukuran yang sama.

c. *Ball-to-powder ratio*

Peningkatan *ball-to-powder ratio* (BPR) mengurangi jalur gerak bebas rata-rata, sementara BPR rendah meminimalkan frekuensi tabrakan. Dengan demikian, frekuensi dampak dan konsumsi energi total per detik meningkat dengan meningkatnya BPR, sementara energi dampak rata-rata per tabrakan menurun dengan meningkatnya BPR dan meminimalkan frekuensi tabrakan. Secara umum, BPR yang efektif telah menemukan bahwa ketika BPR meningkatkan laju amorfisasi meningkat tajam, tetapi kontaminasi dengan besi dari alat penggilingan juga meningkat. Secara umum, untuk amorfisasi BPR mendekati 100 sering sekali di gunakan.

d. *Speed*

Kecepatan penggilingan adalah salah satu variabel yang paling penting untuk dikuasai. Kecepatan putar yang sangat rendah menyebabkan priode milling yang sangat panjang (>100 jam) dalam homogenitas yang tinggi dalam alloy karena dalam input energy kinetik memadai, sehingga tidak mencukupi input panas atribusi untuk paduan. Oleh karena itu, waktu penggilingan yang sangat lama mungkin akan di perlukan untuk paduan homogenus dikurangi untuk jumlah yang sama revolusi dan dengan demikian efektivitas paduan lagi menurun karena penurunan waktu yang tersedia untuk difusi zat terlarut. Namun, kecepatan yang sangat tinggi dapat menyebabkan

pemanasan yang berlebihan, keausan bola yang tinggi menyebabkan kontaminasi dari medium penggilingan dan hasil yang lebih rendah.

## 2.4 *Ball Mill*

*Ball mill* merupakan salah satu instrumen/alat yang dapat digunakan untuk memproduksi nanomaterial. Komponen *ball mill* ini terdiri atas sebuah tabung (vial) penampung material dan bola-bola penghancur. Pada proses pembuatan nanomaterial menggunakan *ball mill* ini. Kemudian *ball mill* di gerakan bisa secara rotasi maupun vibrasi dengan frekuensi tinggi. Gerakan rotasi atau vibrasi ini dapat di variasi sesuai kebutuhan. Akibat material yang terperangkat antara bola penghancur dan dinding vial akan saling bertumbukkan menghasilkan deformasi pada material tersebut. Deformasi material tersebut menyebabkan fragmentasi struktur material sehingga terpecah menjadi susunan yang lebih kecil. (Maurice, D., & Courtney, T.H. 1996)

Untuk memproduksi nanomaterial digunakan mesin *ball mill*, nanomaterial diproduksi disebuah tabung (vial) yang didalamnya terdapat bola-bola penghancur. Pada proses pembuatan nanomaterial *ball mill* bergerak secara rotasi maupun vibrasi dengan frekuensi tinggi. Pada penelitian di dalam pembuatan serbuk aluminium digunakan mesin *ball mill* buatan UMM dengan spesifikasi ukuran diameter tabung 100 mm dan tinggi keseluruhan tabung 250 mm. Kapasitas tabung *ball mill* 200 mg, dengan jumlah bola baja 24 bola berdiameter 16 mm.





Gambar 2.6 Bola penghancur didalam vial

## 2.5 Metalurgi Serbuk (*Powder Metallurgy*)

Metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan benda kerja komersial dari logam dimana logam dihancurkan dahulu berupa tepung, kemudian tepung tersebut ditekan didalam cetakan (*mold*) dan dipanaskan di bawah temperatur leleh serbuk sehingga terbentuk benda kerja. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi masa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*).

Langkah-langkah dasar pada *powder metallurgy*:

1. *Pembuatn serbuk.*
2. *Mixing.*
3. *Compaction.*
4. *Sintering.*
5. *Finishing.*

### 2.5.1 Pembuatan serbuk

Ada beberapa cara dalam pembuatan serbuk antara lain :

*Decomposition, electrolytic deposition, atomization of liquid metals, mechanical processing of solid materials.*

1. Decomposition, terjadi pada material yang berisikan elemen logam. Material akan menguraikan/memisahkan elemen-elemennya jika dipanaskan pada temperature yang cukup tinggi. Proses ini melibatkan dua reaktan, yaitu senyawa metal dan reducing agent. Kedua reaktan mungkin berwujud solid, liquid, atau gas.
2. Atomization of Liquid Metals, material cair dapat dijadikan powder (serbuk) dengan cara menuangkan material cair dilewatkan pada nozzel yang dialiri air bertekanan, sehingga terbentuk butiran kecil-kecil.
3. Electrolytic Deposition, pembuatan serbuk dengan cara proses elektrolisis yang biasanya menghasilkan serbuk yang sangat reaktif dan brittle. Untuk itu material hasil electrolytic deposition perlu diberikan perlakuan annealing khusus. Bentuk butiran yang dihasilkan oleh electrolytic deposits berbentuk dendritik.
4. Mechanical Processing of Solid Materials, pembuatan serbuk dengan cara menghancurkan material dengan ball milling. Material yang dibuat dengan Mechanical processing harus material yang mudah retak seperti logam murni, bismuth, antimony, paduan logam yang relative keras dan brittle, dan keramik.

Sifat-Sifat Khusus Serbuk Logam :

#### 1. Ukuran Partikel

Metode untuk menentukan ukuran partikel antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir. Faktor ini berhubungan dengan luas kontak antar permukaan, butir kecil mempunyai porositas yang kecil dan luas dan kontak antar permukaan besar sehingga difusi

antar permukaan juga semakin besar dan kompaktibilitas juga tinggi.

## 2. Distribusi Ukuran Dan Mampu Alir

Dengan distribusi ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari ukuran standar dalam serbuk tersebut. Pengaruh distribusi terhadap mampu alir dan porositas produk cukup besar. Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak.

## 3. Sifat Kimia

Terutama menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya. Pada metalurgi serbuk diharapkan tidak terjadi reaksi kimia antara matrik dan penguat.

## 4. Kompresibilitas

Kompresibilitas adalah perbandingan volum serbuk dengan volum benda yang ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir, kekuatan tekan tergantung pada kompresibilitas.

## 5. Kemampuan *sinter*

*Sinter* adalah prose pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan 0.7-0.9 dari titik lelehnya.

### 2.5.2 *Mixing* (pencampuran serbuk)

Pencampuran serbuk dapat dilakukan dengan mencampurkan logam yang berbeda dan material-material lain untuk memberikan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. Pencampuran dapat dilakukan dengan proses kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*). Pelumas (*lubricant*) mungkin ditambahkan untuk meningkatkan sifat *powders flow*. Binders ditambahkan untuk meningkatkan *green strenghtnya* seperti wax atau polimer termoplastik.

### 2.5.3 *Compaction (Powder consolidation)*

*Compaction* adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin (*cold compaction*) dan penekanan panas (*hotcompaction*). *Cold compaction* yaitu memadatkan serbuk pada temperatur ruang dengan 100-900 Mpa untuk menghasilkan *green body*.

*Proses cold pressing* terdapat beberapa macam antara lain:

1. *Die Pressing*, yaitu penekanan yang dilakukan pada cetakan yang berisi serbuk .
2. *Cold isotactic pressing*, yaitu penekanan pada serbuk pada temperatur kamar yang memiliki tekanan yang sama dari setiap arah.
3. *Rolling*, yaitu penekanan pada serbuk metal dengan memakai *rolling mill*.

Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering*. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode metalurgi serbuk, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya *interlocking* antar permukaan, interaksi adesi-koheisi, dan difusi antar permukaan. Untuk yang terakhir ini (difusi) dapat terjadi pada saat dilakukan proses *sintering*. Bentuk benda yang dikeluarkan dari *pressing* disebut bahan kompak mentah, telah menyerupai produk akhir, akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir bahan diperoleh setelah proses *sintering*.

### 2.5.4 *Sintering*

Pemanasan kompak mentah sampai temperatur tinggi disebut *sinter*. Pada proses *sinter*, benda padat terjadi karena terbentuk ikatan-ikatan. Panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat. Dengan perkataan lain, proses *sinter* menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan

bertambah. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap rekristalisasi. Disamping itu gas yang ada menguap. Temperatur *sinter* umumnya berada pada 0.7-0.9 dari temperatur cair serbuk utama. Waktu pemanasan berbeda untuk jenis logam berlainan dan tidak diperoleh manfaat tambahan dengan diperpanjangnya waktu pemanasan. Lingkungan sangat berpengaruh karena bahan mentah terdiri dari partikel kecil yang mempunyai daerah permukaan yang luas. Oleh karena itu lingkungan harus terdiri dari gas reduksi atau nitrogen untuk mencegah terbentuknya lapisan oksida pada permukaan selama proses *sinter*.

### 2.5.5 *Finishing*

Pada saat *finishing* porositas pada *fully sintered* masih signifikan (4-15%). Untuk meningkatkan properties pada serbuk diperlukan *resintering*, dan *heat treatment*. (Hirschhron, 1969)

Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*). Dalam pembuatan metalurgi serbuk terdapat beberapa langkah yaitu Pembuatan serbuk, *mixing*, *compaction*, *sintering*, dan *finishing*. Dalam pembuatan serbuk ada beberapa cara antara lain *decomposition*, *electrolytic deposition*, *atomization of liquid metals*, *mechanical processing of solid materials*. *Mixing* (pencampuran) serbuk dapat dilakukan dengan mencampurkan logam yang berbeda dan material-material lain untuk memberikan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik. *Compaction* adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Pemanasan kompak mentah sampai temperatur tinggi disebut *sinter*. Pada proses *sinter*, benda padat terjadi karena terbentuk ikatan-ikatan. Panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat. Pada saat *finishing* porositas pada *fullysintered*

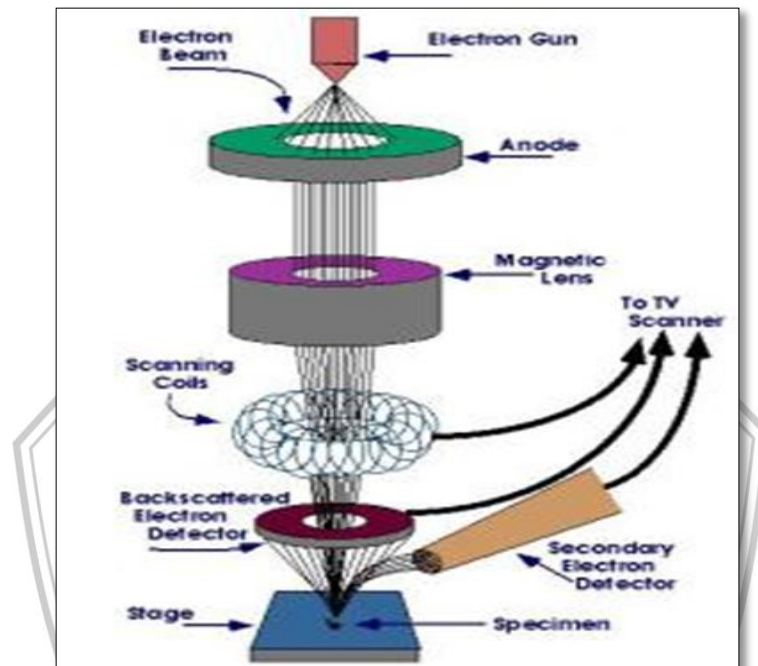
masih signifikan (4-15%). Untuk meningkatkan properties pada serbuk diperlukan *resintering*, dan *heat treatment*.

Dalam pembuatan serbuk almunium penulis menggunakan metode *Mechanical Processing of Solid Materials*, *Mechanical Processing of Solid Materials* adalah pembuatan serbuk dengan cara menghancurkan material dengan *ball milling*. Material yang dibuat dengan *Mechanical processing* harus material yang mudah retak seperti logam murni, bismuth, antimony, paduan logam yang relative keras dan brittle, dan keramik.

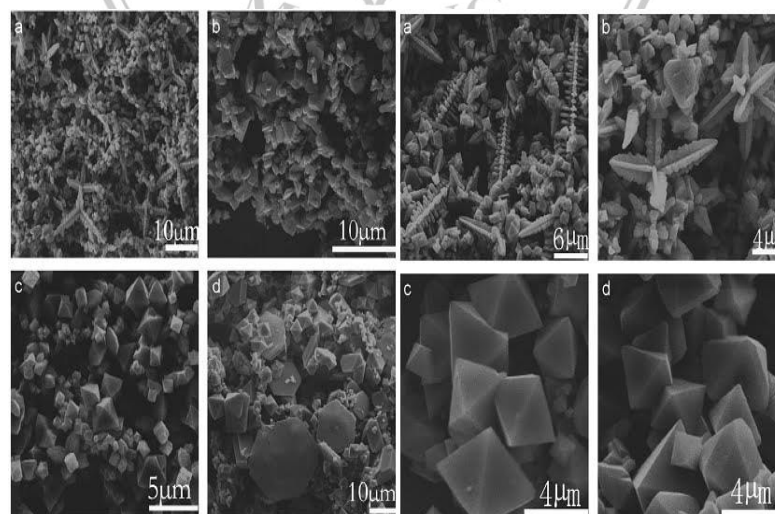
## **2.6 Scanning Electron Microscope (SEM)**

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan salah satu tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel. Oleh karena itu gambar yang dihasilkan oleh SEM mempunyai karakteristik secara kualitatif dalam dua dimensi karena menggunakan elektron sebagai pengganti gelombang cahaya serta berguna untuk menentukan permukaan sampel. Material yang dikarakterisasi SEM yaitu berupa lapisan tipis yang memiliki ketebalan 20  $\mu\text{m}$  dari permukaan. Gambar topografi permukaan berupa tonjolan, lekukan dan ketebalan lapisan tipis dari penampang melintangnya (Mulder, 1996). SEM atau mikroskop elektron ini memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan obyek. Perbedaan tipe yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda-beda antara lain untuk studi morfologi, analisis komposisi dengan kecepatan tinggi, kekasaran permukaan, porositas, distribusi ukuran partikel, himogenitas material atau untuk studi lingkungan tentang masalah sensitifitas material (Sitorus, 2009).

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron yang dapat digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dalam skala mikro dan nano. Teknik analisis SEM menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensa. SEM yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dapat mengetahui struktur mikro serbuk material yang dihasilkan dalam penelitian ini.



Gambar 2.7 Prinsip Dasar SEM



Gambar 2.8 Hasil Pengujian SEM

## 2.7 Bentuk Butiran dan Tekstur Permukaan

Bentuk butiran dan tekstur permukaan mempengaruhi stabilitas dari lapisan perkerasan yang dibentuk serbuk tersebut. Adapun partikel agregat dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk :

a. Bulat (*Rounded*)

Partikel serbuk bulat saling bersentuhan dengan luas bidang kontak kecil sehingga menghasilkan *interlocking* yang lebih kecil dan lebih mudah tergelincir.

b. Lonjong (*Elongated*)

Partikel serbuk dapat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya > 1,8 kali diameter rata – rata. Indeks kelonjongan (*elengated index* ) adalah perbandingan dalam persen dari berat serbuk lonjong terhadap berat total. Sifat *interlocking*nya hampir sama dengan yang berbentuk bulat.

c. Kubus (*Cubical*)

Partikel berbentuk kubus merupakan bentuk serbuk hasil dari mesin pemecah (*crusher*) yang mempunyai bidang kontak yang lebih luas, berbentuk bidang rata sehingga memberikan *interlocking* / saling mengunci yang lebih besar. Dengan demikian kestabilan yang diperoleh lebih besar dan lebih tahan terhadap deformasi yang timbul.

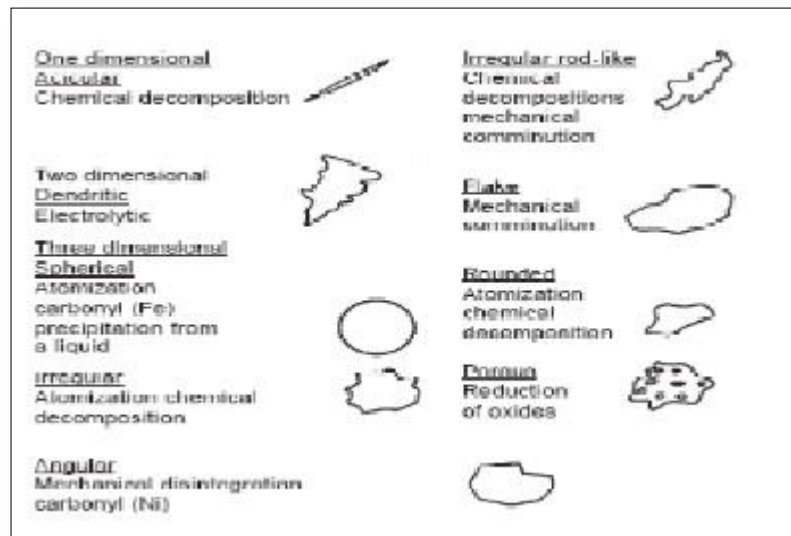
d. Pipih (*Flaky*)

Partikel serbuk berbentuk pipih dapat merupakan hasil dari mesin pemecah (*crusher*) ataupun memang merupakan sifat dari material tersebut yang jika di pecah cenderung berbentuk pipih. Partikel pipih yaitu partikel yang lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata – rata. Indeks kepipihan (*flaskiness index*) adalah berat total partikel yang lolos slot dibagi dengan berat total partikel yang tertahan pada ukuran nono tertentu. Partikel berbentuk pipih mudah pecah pada waktu pencampuran, pemadatan, ataupun akibat beban, oleh karena itu banyaknya partikel pipih ini dibatasi dengan menggunakan nilai indeks kepipihan yang disyaratkan.



e. Tak Beraturan (*Irregular*)

Partikel serbuk yang tidak beraturan, tidak mengikuti salah satu yang disebutkan diatas. ( Silvi Sukirman, 2003)



Gambar 2.9 Bentuk- bentuk partikel serbuk  
(diadopsi Popov dkk, 2002)

## 2.8 Metode Untuk Menentukan Ukuran Partikel

Banyak metode yang tersedia untuk menentukan ukuran partikel. Yang diutarakan disini hanyalah metode yang digunakan secara luas. Pada bagian ini akan dibicarakan metode pengukuran seperti mikroskopi.

### 1. Mikroskopi

Menurut metode mikroskopis, suatu emulsi atau suspensi, diencerkan atau tidak diencerkan, dinaikkan pada suatu slide dan ditempatkan pada alat mekanik. Di bawah mikroskop, diletakkan mikrometer untuk memperlihatkan ukuran partikel tersebut. Pemandangan dalam mikroskop dapat diproyeksikan ke sebuah layar di mana partikel-partikel tersebut lebih mudah diukur, atau pemotretan bisa dilakukan dari slide yang sudah disiapkan dan diproyeksikan ke layar untuk diukur .

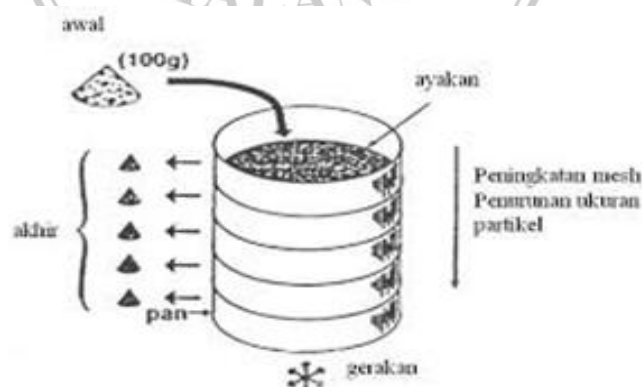
Kerugian dari metode ini adalah bahwa garis tengah yang diperoleh hanya dari dua dimensi dari partikel tersebut, yaitu dimensi panjang dan

lebar. Tidak ada perkiraan yang bisa diperoleh untuk mengetahui ketebalan dari partikel dengan memakai metode ini. Tambahan lagi, jumlah partikel yang harus dihitung (sekitar 300-500) agar mendapatkan suatu perkiraan yang baik dari distribusi, menjadikan metode tersebut memakan waktu. Namun demikian pengujian mikroskopis dari suatu sampel harus selalu dilaksanakan, bahkan jika digunakan metode analisis ukuran partikel lainnya, karena adanya gumpalan dan partikel-partikel lebih dari satu komponen seringkali bisa dideteksi dengan metode ini.

Pada penelitian untuk mengukur ukuran partikel menggunakan SEM atau mikroskop elektron ini memfokuskan sinar elektron (*electron beam*) dipermukaan obyek dan mengambil gambar dengan mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan obyek. Perbedaan tipe yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda dari SEM memungkinkan penggunaan yang berbeda-beda antara lain untuk studi morfologi, analisis komposisi dengan kecepatan tinggi, kekasaran permukaan, porositas, distribusi ukuran partikel, himogenitas material atau untuk studi lingkungan tentang masalah sensitifitas material (Sitorus, 2009).

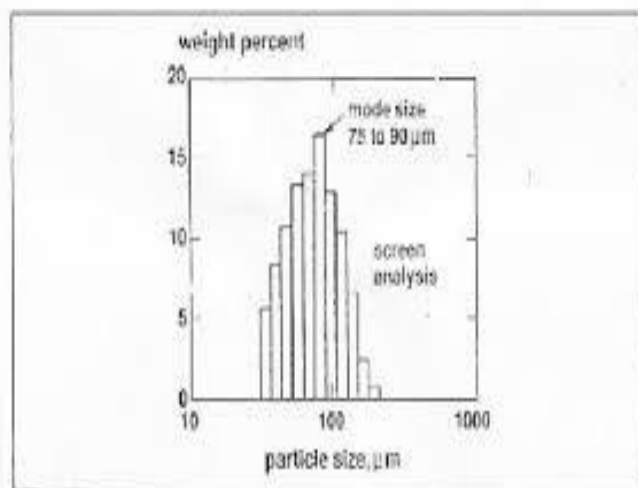
## 2. Distribusi Ukuran Partikel

Metode yang umum dan dapat digunakan dengan cepat untuk menentukan ukuran partikel serbuk secara kolektif adalah menggunakan peralatan uji ayakan (*sieve analysis mesh*).



Gambar 2.10 Peralatan Uji ayakan  
(diadopsi dari German, 1994)

Ukuran partikel secara kolektif dinyatakan dalam analisis distribusi ukuran partikel yang berbentuk grafik histogram. Gambar 2.11 grafik menunjukkan jumlah serbuk yang berbeda dalam setiap inhiremen ukuran partikel serbuk.



Gambar 2.11 Distribusi Ukuran Partikel  
(diadopsi dari German, 1994)

Pengertian mesh adalah, besarnya partikel yang masuk lubang yang berukuran 1 inch persegi. Ukuran serbuk dapat diketahui dengan melakukan pengukuran serbuk. Untuk menganalisa ukuran partikel, teknik yang digunakan adalah teknik screening. Partikel yang lolos dari screen adalah partikel yang lebih kecil dan partikel yang tertinggal adalah partikel yang lebih besar. Satuan metode ini adalah mesh. Tabel standar mesh dapat dilihat pada tabel 2.1.

Ukuran Mesh	Bukaan (μm)	Ukuran Mesh	Bukaan (μm)
18	1000	120	125
20	850	140	106
25	710	150	100
30	600	170	90
35	500	200	75

40	425	230	63
45	300	270	53
50	355	325	45
60	250	400	38
70	212	450	32
80	180	500	25
100	150	600	20

Tabel 2.1 Ukuran standart teknik pengayakan  
(*Smallman dan Bishop, 1995*)

Serbuk dimasukkan pada bagian rak ayakan paling atas kemudian digetarkan selama 15 menit. Setelah digetarkan sejumlah serbuk yang masuk kedalam masing-masing ayakan ditimbang dan dihitung presentasinya.



Gambar 2.12 Alat Uji Pengayakan Serbuk (*sieve analysis*)



Gambar 2.13 Ayakan Serbuk

Serbuk yang telah diayak di timbang menggunakan timbangan digital kapasitas 200 mg. Gambar 2.8 timbangan digital.



Gambar 2.14 Timbangan digital